



普通高等教育“十三五”规划教材

-材料专业实验教材系列

材料物理与 化学基础实验教程

CAILIAO WULI YU
HUAXUE JICHU
SHIYAN JIAOCHENG

云南大学材料学科实验教学教研室 编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材-材料专业实验教材系列

材料物理与化学基础实验教程

云南大学材料学科实验教学教研室 编



化学工业出版社

·北京·

本教程针对材料物理、材料化学与无机非金属材料工程本科专业,收集、整理和设计了六十个当前比较成熟的、常用的有关材料物理与化学的基础实验,每个实验主要包含实验目的、实验原理、实验仪器和实验材料、实验内容与步骤、实验报告和要求、问题与讨论,以及参考文献等内容。

本教程可作为高等院校材料物理、材料化学和无机非金属材料工程专业,以及物理、化学和其他材料类专业本科生的实验教学用书,各学校可以根据自身实验条件和学科特点有选择性地开设实验,亦可供相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料物理与化学基础实验教程/云南大学材料学科实验教学教研室编. —北京:化学工业出版社,2015.9

普通高等教育“十三五”规划教材-材料专业实验教材系列

ISBN 978-7-122-24621-9

I. ①材… II. ①云… III. ①材料科学-物理学-实验-高等学校-教材②材料科学-应用化学-化学实验-高等学校-教材 IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 158433 号

责任编辑:尤彩霞

装帧设计:史利平

责任校对:王静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数299千字 2015年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 34.00 元

版权所有 违者必究



序

PREFACE

信息、能源、生物技术和材料是现代发展的支柱，而各种新材料则是信息技术、新能源、生物产业发展的支撑和基础。因此，材料是国民经济、社会进步和国家安全的物质基础和先导，材料技术已成为现代工业、国防和高技术发展的共性基础技术，是当前发展最快的科学技术领域之一，也是影响国家竞争力的关键领域，而竞争的关键是人才。如何培养具有创新精神、实践能力强、高素质的材料科学人才是高等学校面临的一个重要课题。

材料科学与工程是实践性非常强的学科，实验教学在学科中占有非常重要的地位。运用科学的实验设计方法，熟悉和掌握基础仪器和设备正确的操作，科学完备地记录和数据优化处理分析等都可以锻炼学生的动手能力、思考能力和分析问题、解决问题的能力，培养学生严谨求实的学风和创新精神。

本系列实验教程的编写以“厚基础、宽专业、多方向、强能力”为指导思想，力求做到以下几点。

(1) 把握材料科学与工程学科专业的特点和要求，从科学和专业的角度，结合科研和生产的需求，吸收国内外同类实验教材的精华。

(2) 兼顾不同专业的共性与个性培养，加强常规基础实验，实现同一学科多专业知识的交叉与渗透，以满足宽口径人才培养的需求。

(3) 注重基础，强调实践，坚持理论与实践相结合，体现科学性、实用性，教学内容深度和广度适中，以够用和实用为原则。

(4) 注重创新和综合素质的培养，反映材料科学领域的新概念、新知识、新技术、新工艺，体现实验技术的现代性。

本系列实验教程涵盖实验方法、误差及数据处理、材料合成与制备、材料性能、成分及微结构检测、综合实验等内容。此外，为了使学生较好地理解材料科学四要素之间的关系，即材料合成与制备—成分、结构—性能—应用等之间的关系，安排一定数量的综合实验，根据不同材料的特点，让学生选择一种或两种材料体系，从材料制备—性能测试—微结构表征—应用等环节进行综合实验能力训练。

为了结合材料等专业的学科需求性和实验特点，计划出版《材料物理与化学基础实验教程》《材料物理与化学制备实验教程》《材料物理性能实验教程》《材料分析与表征实验教程》《材料专业创新实验教程》。

本系列实验教程是王毓德教授带领的实验教学团队多年实验教学的总结。本系列实验教程的出版，增加了读者从不同视角选择的可能性；对材料科学教学的改革，进一步有效提高学生创新、实践能力，培养高素质的材料科学人才也具有重要的意义。教材的生命力在于质量，而提高质量是永恒的主题。希望读者对本书不足之处提出批评和建议，以使编者更加精益求精，对教材不断进行修订和完善，以满足高等教育不断发展的需要。

教育部科技委材料学部委员

 吴兴惠教授

2015年9月

前言

FOREWORD

《材料物理与化学基础实验教程》是针对材料物理、材料化学和无机非金属材料工程各专业大学一年级学生的实验课程。目前已有的同类教材或教程中，无机化学实验、材料物理实验、材料物理基础实验等的内容主要以满足材料物理、环境、化学、化工、食品、生物等专业的要求为主，而面向材料专业，特别是能满足材料物理、材料化学和无机非金属材料工程专业需求的教材并不多。同时，由于各高等学校在材料科学与工程学科相关本科专业的培养目标方面各有特色和侧重，已有的同类教材或教程也不能很好地满足各高校对材料各专业本科生培养的要求和需要。为此，我们从2000年开始，针对材料化学、材料物理本科专业编写了适合其培养方案要求和学科特色发展的材料物理与化学基础实验讲义。2009年新增无机非金属材料工程本科专业后，对实验讲义进行了修订和增补，以满足三个本科专业在材料物理与化学基础实验的要求和需要。经过近6年的使用、修改和完善，本实验讲义已在内容、形式、完整性和系统性等方面达到相关要求。结合教学实践，对部分内容和文字叙述进行了改进，重新编写了部分实验，并加强了综合实验训练，在此基础上编写成了本教材。

本教程分预备知识、基本实验技能训练、材料相关基本参数测定实验、综合实验四个部分。预备知识部分介绍误差及有效数字、实验数据的表达方法和处理方法以及材料物理与化学实验室守则和安全守则；基本实验技能训练部分包括温度测量技术、压力及真空测量技术、电化学测量技术和光学测量技术，介绍相关仪器的原理及使用方法；材料相关基本参数测定实验部分包括31个基本参数的测定实验；综合实验部分包括配合物生成、溶胶的制备、二组分固液相图的绘制、硝酸钾的制备和提纯等7个综合性实验。按照循序渐进的原则，训练学生掌握基本操作和分析问题、解决问题的综合能力。

本书的编写是多年来从事材料物理化学基础实验教学工作的老师们共同努力的结果。参加本教程编写的有肖雪春（实验十一~十四，二十三，二十六，二十九，三十六，三十九~四十一，四十五~四十七，四十九~五十三，五十六）、王莉红（实验十五~十八，三十~三十五，三十七，三十八，四十三，五十四，五十五，五十七~五十九）、管洪涛、王毓德（实验一~四，九，二十八）、黄强（实验十九~二十二，四十四，四十八）、陈刚（实验六~八，十，二十四，二十五，二十七，四十二，

六十)、周祯来(实验五)。全文由王毓德教授统稿。

本教程由云南大学物理科学技术学院学院制建设专项经费资助出版。

在本教程编写过程中,参考了国内各兄弟院校的材料合成与制备实验教材和相关的著作、期刊论文、学位论文、文献资料等,谨此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限和经验不足,书中难免有不当和遗漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2015年9月

目录

CONTENTS

◎ 第一章 预备知识

1

- 实验一 材料物理化学实验室安全防护知识 1
- 实验二 实验的设计方法 4
- 实验三 实验测量结果的表达 6
- 实验四 实验的误差及数据处理 11

◎ 第二章 基本实验技能训练

15

- 实验五 高低温的获得与测量 15
- 实验六 恒温槽的装配和性能测试 18
- 实验七 真空获得与测量 22
- 实验八 电子束衍射实验 28
- 实验九 电子束衍射照相技术 34
- 实验十 常见晶体结构的认识与搭建 40
- 实验十一 常用仪器的认领、洗涤和干燥 44
- 实验十二 电子分析天平称量练习 51
- 实验十三 溶液的配制 55
- 实验十四 滴定分析基本操作练习 58
- 实验十五 EDTA 标准溶液的配制和标定 63
- 实验十六 水中钙、镁含量的测定 66
- 实验十七 高锰酸钾溶液的配制与标定 69
- 实验十八 高锰酸钾法测定水样中化学需氧量(COD) 71
- 实验十九 简单蒸馏实验 74
- 实验二十 液-液萃取实验 77
- 实验二十一 柱色谱分离法实验 79
- 实验二十二 乙酰苯胺的重结晶提纯法 82

◎ 第三章 材料相关基本参数测定实验

86

实验二十三	温差电动势的测量及应用	86
实验二十四	真密度的测量实验	91
实验二十五	霍尔法测磁场	94
实验二十六	静态法测定金属丝的杨氏模量	99
实验二十七	冷却法测定金属的比热容	104
实验二十八	高温熔体黏度测定实验	107
实验二十九	醋酸解离常数和解离度的测定	109
实验三十	分光光度法测定弱电解质电离常数	114
实验三十一	最大气泡法测定溶液的表面张力	117
实验三十二	液体饱和蒸气压的测定	120
实验三十三	分配系数的测定	123
实验三十四	液体黏度测定	125
实验三十五	溶液电导率的测定	127
实验三十六	硫酸钡的溶度积测定	129
实验三十七	凝固点下降法测不挥发溶质的相对分子量	132
实验三十八	蔗糖水解反应速度常数的测定	135
实验三十九	化学反应热的测定	138
实验四十	化学反应平衡常数的测定	144
实验四十一	丙酮碘化反应速率常数及活化能的测定	146
实验四十二	原电池电动势和电极电势的测定	151
实验四十三	有机物燃烧焓的测定	155
实验四十四	有机物熔点的测定	158
实验四十五	材料色度的测定	162
实验四十六	材料白度的测定	166
实验四十七	材料光泽度的测定	170
实验四十八	陶瓷材料气孔率、吸水率及体积密度测定	173
实验四十九	弹性材料应力-应变特性测试	176
实验五十	黏度法测定水溶性高聚物相对分子量	179
实验五十一	热塑性聚合物熔融指数的测定	186
实验五十二	块状树脂软化点的测定	189
实验五十三	差热分析实验	191

◎ 第四章 综合实验

197

实验五十四	配合物的生成及性质	197
-------	-----------	-----

实验五十五	铬、锰、铁	201
实验五十六	硝酸钾的制备和提纯	206
实验五十七	溶胶的电泳	214
实验五十八	溶胶的制备及稳定性	216
实验五十九	二组分固液相图的绘制	219
实验六十	电解法回收废水中的 Cr 元素	222

第一章

预备知识

实验一 材料物理化学实验室安全防护知识

一、实验目的

1. 掌握材料物理化学实验室的潜在危险
2. 掌握实验室的安全防护常识

二、实验原理

在物理化学实验室里，常常潜藏着诸如爆炸、着火、中毒、灼伤、割伤、触电等事故的危险性，因此在材料物理化学实验室，安全是非常重要的。对于如何防止安全事故的发生以及万一发生事故又如何来急救，这是每一个物理化学实验工作者必须具备的基本素质。

本实验旨在结合物理化学实验室的特点，介绍实验室内的安全防护常识。

三、实验内容与步骤

本实验主要包括安全用电常识、实验室化学药品的安全防护及实验室常见伤害的防护措施。

1. 实验室安全用电常识

在材料实验室，仪器设备较多，电是不可或缺的必备条件之一，因此对于用电的安全是非常重要的，违章用电常常会造成人身伤亡、火灾或仪器设备的损坏等严重事故。

(1) 防止触电

① 实验时，应先连接好电路后才接通电源；实验结束时，先切断电源再拆线路。

② 所有电器的金属外壳都应保护接地，电源裸露部分应有绝缘装置。线路中各接点应牢固，电路元件两端接头不要互相接触，以防短路。

③ 电线、电器不要被水淋湿或浸在导电液体中，修理或安装电器时，应先切断电源。

④ 不能用试电笔去试高压电。使用高压电源应有专门的防护措施。

⑤ 不用潮湿的手接触电器，如不幸有人触电，应迅速切断电源，然后进行抢救。

(2) 电器仪表的安全使用

① 在使用前，先了解电器仪表要求使用的电源是交流电还是直流电；是三相电还是单相电以及电压的大小（380V、220V、110V 或 6V）；须弄清电器功率是否符合要求及直流电器仪表的正、负极。

② 仪表量程应大于待测量值。若待测量值大小不明时，应从最大量程开始测量。

③ 实验之前要检查线路连接是否正确，经教师检查同意后方可接通电源。

④ 在电器仪表使用过程中，如发现有不正常声响，局部温升或嗅到绝缘漆过热产生的焦味，应立即切断电源，并报告教师进行检查。

(3) 实验室火灾预防

① 使用的保险丝要与实验室允许的用电量相符。

② 电线的安全通电量应大于用电功率。

③ 室内若有氢气、甲烷等易燃易爆气体，应避免产生电火花。继电器工作和开关电闸时，易产生电火花，要特别小心。电器接触点（如电插头）接触不良时，应及时修理或更换。

④ 如遇电线起火，立即切断电源，用沙或二氧化碳、四氯化碳等灭火器灭火，禁止用水或泡沫灭火器等导电液体灭火。

2. 使用化学药品安全防护

(1) 防中毒

① 实验之前，应预先了解所用药品的毒性及其防护措施。对于剧毒药品，要专人专管，领用时做好登记，使用时要特别小心。

② 操作有毒气体应在通风橱内进行。

③ 有些药品（如苯、有机溶剂、汞等）能透过皮肤进入人体，应避免与皮肤接触。

④ 禁止在实验室内喝水、吃东西。饮食用具不要带进实验室，以防毒物污染，离开实验室及饭前要洗净双手。

⑤ 苯、四氯化碳、乙醚、硝基苯等的蒸气会引起中毒。它们虽有特殊气味，但久嗅会使人嗅觉减弱，所以应在通风良好的情况下使用。

(2) 防爆炸

① 如果实验过程中需要气氛保护或气体参与反应，则须特别注意实验室的防爆

问题。可燃气体与空气混合，当两者比例达到爆炸极限时，受到热源（如电火花）的诱发，就会引起爆炸。表 1-1 列出了部分常见气体与空气相混合时的爆炸极限。

表 1-1 与空气相混合的部分气体的爆炸极限（20℃，1 大气压）

气体	爆炸高限 (体积分数/%)	爆炸低限 (体积分数/%)	气体	爆炸高限 (体积分数/%)	爆炸低限 (体积分数/%)
氢	74.2	4.0	醋酸	—	4.1
乙烯	28.6	2.8	乙酸乙酯	11.4	2.2
乙炔	80.0	2.5	一氧化碳	74.2	12.5
苯	6.8	1.4	水煤气	72	7.0
乙醇	19.0	3.3	煤气	32	5.3
乙醚	36.5	1.9	氨	27.0	15.5
丙酮	12.8	2.6			

② 使用可燃性气体时，要防止气体逸出，室内通风要良好。同时严禁使用明火，还要防止发生电火花及其它撞击火花。

③ 有些药品，如叠氮铝、乙炔银、乙炔铜、高氯酸盐、过氧化物等受震和受热都易引起爆炸，使用要特别小心。

④ 严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起。

⑤ 有些物质如磷、金属钠、钾、电石及金属氢化物等，在空气中易氧化自燃。还有一些金属如铁、锌、铝等粉末，比表面积大，也易在空气中氧化自燃。这些物质要隔绝空气保存，使用时要特别小心。

⑥ 实验室如果因为爆炸发生火灾，则需根据燃烧物质的情况选择合适的灭火剂。

(a) 金属钠、钾、镁、铝粉、电石、过氧化钠着火，应用干沙灭火；

(b) 比水轻的易燃液体，如汽油、苯、丙酮等着火，可用泡沫灭火器；

(c) 有灼烧的金属或熔融物的地方着火时，应用干沙或干粉灭火器；

(d) 电器设备或带电系统着火，可用二氧化碳灭火器或四氯化碳灭火器；

(3) 防灼伤

强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、冰醋酸等都会腐蚀皮肤，特别要防止溅入眼内。液氧、液氮等低温也会严重灼伤皮肤，使用时要小心，万一灼伤应及时治疗。

3. 实验室常见伤害处理

(1) 强酸

浓酸洒在实验台上，先用碳酸钠或碳酸氢钠中和，再用水冲洗干净；沾在皮肤上，应先用干抹布擦去，然后用 3%~5% 碳酸氢钠溶液清洗；溅到眼睛里，应立即用水清洗，然后用 5% 碳酸氢钠溶液或 2% 醋酸淋洗，再请医生处理。

(2) 强碱

浓碱洒在实验台上，先用稀醋酸中和，再用水冲洗干净；沾在皮肤上，先用大

量水清洗，再涂上硼酸溶液；溅到眼睛里，用水洗净后再用硼酸溶液淋洗。

无论酸还是碱溅入眼睛，切不要用手揉。

(3) 烫伤或灼伤

① 烫伤后切勿用水冲洗，一般烫伤可在伤口上擦烫伤膏或用浓高锰酸钾溶液擦至皮肤变为棕色（也可用95%酒精轻涂伤处，不要弄破水疱），再涂上凡士林或烫伤膏。

② 被磷灼伤后可用硝酸银溶液或硫酸铜溶液、高锰酸钾溶液洗涤伤处，然后进行包扎。

③ 被沥青、煤焦油等有机物烫伤后，可用浸透二甲苯的棉花擦洗，再用羊脂涂敷。

四、实验报告和要求

认真预习实验室安全防护常识，并严格根据实验室安全要求进行相关实验操作。

五、问题与讨论

1. 实验室发生火灾时，如何选择灭火材料？
2. 实验室还有哪些可能存在的危险，应如何预防和应对？

实验二 实验的设计方法

一、实验目的

1. 了解实验设计的常用方法
2. 了解对不同类型实验选用设计方法的原则

二、实验原理

实验的设计 (design of experiments) 是数理统计学的一个重要内容，它在生产实践和科研工作中发挥着极其重要的作用。在进行具体的实验之前要对实验的相关影响因素和环节做出合理的全面安排，从而制定行之有效的实验方案。

实验设计就是对将要开展的实验预先进行合理的设计和安排，以达到最好的实验效果，其主要讨论如何合理地安排实验以及对实验结果所得的数据进行分析。自从英国学者费希尔 (R. A. Fisher) 首次使用实验设计方法以来，实验设计已在众多领域起到了不可替代的作用，其设计方法也得到了不断完善和发展。

实验设计需要根据实验的内容和类型合理安排，根据所涉及实验内容的差异，

实验可分为五种类型：演示型实验、验证型实验、比较型实验、优化型实验和探索型实验。针对不同的实验类型，实验设计的内容也各不相同。

1. 实验的分类

(1) 演示型实验

演示型实验的实验目的是针对一种科学现象按照实验所要求的实验条件和固定的实验程序进行操作，从而得出预先设定的结果。演示型实验的实验设计就是为了使实验的操作更简便直接，使得实验结果更清晰。

(2) 验证型实验

验证型实验的实验目的是为了验证一种推断或说法的正确性，或检验一种已有实验结果的正确性。验证型实验的设计方法是对实验数据做统计分析，通过统计方法得出最佳实验条件，然后在该实验条件下对实验结果进行进一步的重复验证。

(3) 比较型实验

比较型实验的实验目的是为了对比几种不同处理方法或不同实验工艺所得结果的差异。比较型实验的设计需要结合专业设计和统计方法，针对不同的实验工艺、实验条件和处理方法得出它们之间的差异。

(4) 优化型实验

优化型实验的目的是为了能够高效快捷地找出最佳实验条件和实验工艺，属于一种尝试性的实验。优化型实验已在科研、开发和工业生产中发挥出越来越重要的作用，目前流行的优化型实验的设计方法主要有正交设计和均匀设计等。

(5) 探索型实验

探索型实验是指对未知事物进行的探索性研究，其目的是为了了解未知事物的某种性质、属性和特征，或者了解已知事物的某些未知属性。探索型实验的设计需要依靠专业知识，结合实验优化和实验对比，在大量的不同实验中找出它们之间的共同特征或属性。

2. 实验设计的基本要素

从专业设计的角度来看，实验设计的三个要素就是实验对象、实验因素和实验效应。

(1) 接受实验处理的单元称为实验对象，它可以是材料或产品。在不同类型的实验设计中，需要考虑实验对象的特征、属性等参数的不同。

(2) 实验因素是实验设计的一项重要内容。在整个实验设计过程中，影响最终实验指标的因素可能有很多，这就需要实验设计者根据专业知识进行全面的分析和合理的选择，以便选用合适的方法对这些因素进行妥善安排。

在实验设计中，一般选择数量因素，而尽量少选择品质因素。数量因素就是对其水平值能够用数值大小来精确表示的因素，如温度、时间、压力、体积等；品质因素如药品的种类、产地、设备的型号等。在实验设计进行之前，可以先做筛选实验，以选取较为合适的因素和水平的数目。

(3) 实验效应是反映实验处理结果的标志，它通过具体的实验指标来体现。在

进行实验设计时，要尽可能选取数量性的、客观性的指标。

3. 实验设计的基本原则

实验设计要遵循随机性、重复性、对照性和均衡性四大原则。

(1) 随机性原则

随机性是指在抽样或分组时，要保证总体中的任何一个个体都能同等概率地被抽样进入样本，以及样本中任何一个个体都有同等机会被分配到任何一组中。通过实行随机化抽样，可以大大降低实验的系统误差。

(2) 重复性原则

由于实验过程中个体差异等因素的影响，同一种处理工艺和方法对不同的受试对象所产生的效果不尽相同。因此，只有在进行大量重复实验的前提下，实验的真实效应才能够显现出来。在实验中要保证做到重复性原则，即在相同的条件下，对 n 个样品进行独立重复性实验，或者对一个独立样品进行 n 次重复性实验，然后找出各实验之间的共同属性，以降低因个体差异或实验工艺、处理方法等不同所产生的误差。

(3) 对照性原则

在进行实验设计时，必须设立对照组，以消除或减小实验误差。

(4) 均衡性原则

在实验设计时，要保证对照组和实验组的非处理因素尽可能达到均衡一致，使处理因素的实验效应能够真实客观地表达和反映出来。

三、问题与讨论

1. 对一个实验进行设计时，应如何选择实验因素和水平？
2. 如何确定一个实验的实验类型，从而对其进行合理有效的设计？

实验三 实验测量结果的表达

一、实验目的

1. 掌握实验数据的常用表达方法
2. 掌握根据实验数据选择不同表达方法的依据和标准

二、实验原理

在材料相关的物理化学实验过程中，会产生大量的实验数据，为了查找测量对象的内在规律，正确地给出实验结果，需要对这些实验数据进行记录、整理、计算

和分析，为此，对不同的实验结果通常会采用不同的表达方法。

物理化学实验常用的数据表达方法主要有以下三种。

1. 列表法

将实验过程中直接测定的数据，或根据测量结果计算得到的数据，按照其自变量和因变量的函数关系以一定的顺序列出数据表，称为列表法。列表法可以较为清晰醒目地标示出各物理量之间的对应关系，易于检查数据和发现问题。

列表法的优点为：简单易操作，形式紧凑，同一表格内可以同时表示几个变量间的变化关系而不会显得混乱。数据表达直接，不会引入数据处理误差。

利用列表法表达实验数据时，应注意以下问题：

- (1) 每一个数据表格应有其表格序号及简明完备的名称；
- (2) 表格中的每一行数据应有其详细的名称及单位，测量单位应在名称栏中标明，不应与数据写在一起；
- (3) 表中数据尽量采用最简单的形式表示，公共的乘方因子应放在栏头注明；
- (4) 同一直列数据应真实反映仪表的测量精度，记录数据时应注意有效数字的位数；
- (5) 实验原始数据的记录表格，应能记录实验测量的全部数据，包括一个量的重复测量结果，并且在表内或表外列出实验测量的条件及环境情况数据；
- (6) 如表名或表中项目名称过于简单，不足以说明其原意时，则需要在表格下面附以说明。

如对二氧化锰纳米结构的电化学性能进行测试，其比电容的实验结果可以用如表 3-1 的形式列出。

表 3-1 二氧化锰在不同电流密度下的比电容值

样品编号	电流密度/(A/g)			
	0.2	0.5	1.0	2.0
1#	116.3	111.2	107.5	96.1
2#	80.8	77.3	67.7	51.6

2. 作图法

对于列表法，一般很难直接看出数据之间的直观规律性，因此常常需要将实验结果用图形表示出来，使得实验结果简明直观，便于比较，易于显示出结果的规律性或趋向性。图形表示法为进一步求得函数关系的数学表达式提供了依据，有时还可用作图进行外推，以求得实验难以获得的重要物理量。

对实验数据结果进行作图时需注意以下几个基本原则。

(1) 图纸的选择

常用图纸有直角坐标纸、半对数坐标纸和双对数坐标纸，要根据各变量间的函数关系选择合适的坐标纸。当变量数量多于两个时，如对于函数 $z = f(x, y)$ ，作